

Bluetooth Scatternet Formation에 관한 연구

안호성^o 황진옥 민성기
고려대학교 컴퓨터학과 고속통신 연구실
{saaakan^o, withmind}@hcl.korea.ac.kr, sgmin@korea.ac.kr

Study of Bluetooth Scatternet Formation

Ho-sung Ahn^o, Jin-ok Hwang, Sung-gi Min
High-speed Communications Lab. Dept of Computer Science & Engineering, Korea University

요 약

Bluetooth 칩셋의 생산량을 보면, 보이지 않는 곳에서 Bluetooth의 성장은 계속 되고 있다.[1] 그리고 Bluetooth는 Scatternet을 구성하여 Personal Area Network의 영역을 넘어 Sensor network에 적용하는 것이 가능하다. 그러나 Bluetooth specification[2]에서는 Scatternet Formation 방법에 대해 제안하지 않는다. 이를 개선하기 위해 BTCP (Bluetooth Topology Construction Protocol)[3], Bluetree[4], Bluenet[5], TPSF(Two-Phase Scatternet Formation) protocol[6]이 제안되었다. 본 논문에서는 이러한 protocol들을 개략적으로 설명하고 그에 대한 장단점을 알아보겠다.

1. 서 론

Bluetooth는 저전력을 사용하는 단거리 무선 통신 기술이다. 1999년에 최초의 표준이 만들어졌고, PC와 mobile phone에 적용할 목적으로 개발되었다. [1]에 따르면 2001년에는 백40만개의 Bluetooth handset이 제작되었으며, 2002년에는 관련 산업의 경기 하강에도 불구하고 3천5백만 개의 Bluetooth 칩셋이 판매되었다고 한다. 이처럼 보이지 않는 곳에서 Bluetooth의 성장은 계속되고 있다.

이러한 Bluetooth는 단순히 하나의 무선 범위에서 작동하는 piconet을 넘어서, 여러 개의 piconet 연결을 통한 Scatternet 구성까지 가능하도록 발전하였다. 이를 통해 근거리 통신의 Personal Area Networks의 영역을 넘어 Sensor network에도 Bluetooth를 적용 가능하다.

그러나 Bluetooth specification[2]에서는 scatternet의 개념만을 소개하고, Scatternet Formation 방법에 대해서는 제안하지 않고 있다. 이를 개선하고자 많은 protocol들이 제안되었다. BTCP(Bluetooth Topology Construction Protocol)[3], Bluetree[4], Bluenet[5] 등이 대표적인 protocol들이다. 이들 protocol들은 coordinator의 필요, scatternet의 네트워크의 크기 제한, 참여 node 수의 제한, routing 방법의 부재, master와 bridge node에서의 bottleneck 발생, Mobility에 대한 적응성 부재 등의 단점이 존재하였다.

이런 문제점을 개선하기 위해 TPSF(Two-Phase

Scatternet Formation) protocol[6]이 제안되었다. 이는 대표적인 protocol들이 가진 문제점 중 대부분의 문제점을 해결하고 있다.

본 고에서는 이러한 Scatternet Formation protocol들을 개략적으로 설명하고 그에 대한 장단점을 알아보겠다.

2. 관련연구

2.1 Bluetooth Topology Construction Protocol

BTCP(Bluetooth Topology Construction Protocol) [3]는 단일 무선 범위 내에서 최대 36개의 node가 존재할 때 Scatternet formation을 수행하는 protocol이다. 이 protocol은 3단계로 구성된다.

Coordination election 단계는 각각의 node들에 역할을 분배할 coordination node를 선택하는 단계다. 이 방법은 piconet의 leader election 방법을 사용한다.

Role Determination 단계는 coordinator가 각각의 node들의 역할을 결정하는 단계이다. Coordination election 단계를 통해 알게 된 전체 참여 node의 수를 이용하여 적절한 master와 bridge의 수를 계산한다.[7] 이 수에 맞추어 각 node의 역할을 결정한다.

마지막 단계는 결정된 역할에 따라 각각의 node를 piconet으로 연결하는 단계다.

BTCP의 장단점은 다음과 같다. Bluetooth specification[2]이 가지고 있는 leader election을 사용하여 간단한 장점이 있다. 그러나 network의 크기가 제한되고, node들의 개수도 제한되며, node의 mobility에 대한 적응성이 없다. 또한 master와 bridge node에서

bottleneck 현상이 발생하고 coordinator를 선출하는 과정이 필요하다.

2.2 Bluetree

Bluetree[4]는 spanning tree에 기반한 protocol이다. Scatternet 구성 과정을 살펴보자. 이는 Blueroot라 불리는 coordinator를 선출한다. Blueroot는 자신의 주변에 존재하는 다른 node들을 leaf node로 자신의 piconet에 참여시킨다. Leaf node가 된 slave node는 자신이 master가 되어 아직 piconet에 참여하지 않은 다른 node를 leaf node로써 자신의 piconet에 참여시킨다. 이 과정을 반복하여 하나의 tree를 구성하고 이를 Bluetree라고 한다.

Bluetree의 routing table 형성과정을 살펴보자. Bluetree가 구성되면 마지막 leaf node들은 자신의 상위 node에 자신의 주소를 전달한다. 이 주소를 받은 node는 자신의 routing table에 정보를 저장한다. 모든 leaf node에서 routing 정보를 받으면 자신의 routing table과 자신의 주소를 상위 node에게 알린다. 이 과정을 반복하여 Blueroot까지 전달하면 routing table이 형성된다.

Bluetree의 장단점은 다음과 같다. 참여 node 수에 제한이 없고, routing을 포함한 scatternet formation protocol인 장점이 있다. 그러나 coordinator가 필요하고 Blueroot에 traffic이 밀집되어 bottleneck 현상이 심하게 발생한다. 또한 mobility에 대한 적응성이 없다.

2.3 Bluenet

Bluenet[5]은 coordinator가 필요하지 않은 분산방식의 protocol이다. 최초로 기본적인 piconet 구성방식으로 임의의 piconet들을 구성한다. 각각 구성된 piconet의 모든 node는 page를 시작하여 다른 piconet에 참여 중인 인접 node를 찾는다. 어떤 node가 다른 piconet에 속하는 인접 node를 발견하면 이 node와 연결되어 bridge가 된다. Bridge가 되었다는 정보를 master에 알려주어 scatternet을 구성한다.

Bluenet의 장단점은 다음과 같다. 참여 node 수에 제한이 없고, 네트워크의 크기 제한이 없고, 빠르며, coordinator가 필요 없다. 그러나 여전히 bottleneck 현상이 발생하고, 별도의 routing이 필요하다. 또한 mobility에 대한 적응성이 없다.

3. 기존 Scatternet Formation의 단점을 극복하는 Two-Phase Scatternet Formation Protocol

TPSF(Two-Phase Scatternet Formation) protocol[6]은 Control Scatternet Formation protocol의 두 단계로 구분된다. Control Scatternet은 NIB갱신 message, RREQ, RREP[8], PREQ, PREP의 message와 인접 node를 찾기 위한 message과 같은 control traffic을 전달한다.

3.1 Control Scatternet Formation

Control Scatternet[6]의 형성과정에 coordinator를 사용하지 않고 분산 방식으로 Control Scatternet을 구성한다. 이 때 master, slave, bridge의 결정을 인접 node 밀도를 계산하여 최소한의 piconet 수로 Scatternet을 구성한다. 최소한의 piconet 형성을 보장하기 위해 8개로 piconet의 참여 node 수가 제한된 것을 없애는 parked mode[2]를 사용한다.

Control Scatternet은 인접 밀도를 계산하기 위해 inquiry message를 보낼 때 표 1과 같이 {Unique ID, Mode, Role, 인접 node의 수, Metric} 정보를 포함하여 전송한다. Unique ID는 inquiry message를 보내는 node의 주소이고, Mode는 현재 연결 상태, Role은 현재 node의 역할, Metric은 현재 node의 인접 node 밀도를 나타낸다. 이 정보를 받은 node는 NIB(Neighbor Information Base)라 불리는 database에 저장한다. 이 단계가 끝나면 각각의 node의 밀도에 따라 분산 방식으로 master, slave, bridge의 역할을 결정한다.

Element	Symbol	bits	
인접 node 수	G_i	6	0-63
Role	R_i	3	{UNDEFINED, MASTER, SLAVE, BRIDGE2, ..., BRIDGE6}
Metric value	V_i	12	Node 주변의 node 밀도
Mode	D_i	1	{DISCONNECTED, CONNECTED}
Unique ID	U_i	48	BD_ADDR

표 1: Extension of ID packet for node i []

각각의 node의 역할이 결정되면 master node로 결정된 node는 자신의 slave, bridge들과 page 상태를 통해 연결된다. 이 연결 이전에 각 master node는 자신의 NIB 정보를 slave, bridge 순으로 정렬한다. slave들은 각각의 unique ID순으로, BRIDGE n 은 n 의 순서로 정렬된다. 이 정렬 순서대로 각각의 node는 master와 연결된다.

Scatternet이 구성될 때, master는 page 과정에서 piconet에 참여하는 node들의 NIB 정보를 수집한다. Control Scatternet의 구성이 완료되면 master는 자신의 NIB 정보를 인접 piconet의 master에게 전달한다. 최종적으로 갱신된 NIB 정보는 On-demand Scatternet에 참여하는 node를 선택하는데 사용된다.

Control Scatternet은 각 Bluetooth node들을 자신의

network에 가입 및 탈퇴시키는 과정을 포함하여 node의 mobility에 적응하는 특징을 가진다. 이를 위해 piconet node의 scheduling과정에 새로운 node를 탐색하고, piconet에 참여하고 있는 node들이 있는지 확인하는 과정을 주기적으로 수행한다.

3.2 On-demand Scatternet

On-demand Scatternet[6]은 순수하게 data traffic을 전송하기 위해 사용된다. On-demand Scatternet은 data 전송이 필요할 경우에 Control Scatternet을 통해 route와 path를 결정한 후에 구성되며, data 전송이 끝나면 소멸된다.

On-demand Scatternet의 route를 결정하기 위해 이미 구성된 Control Scatternet에 Dynamic Source Routing (DSR)[8]을 사용하여 route를 결정한다. 이는 기본적인 DSR기법과 Route cache를 이용한 기법을 동시에 사용한다. RREQ message를 source node가 자신의 Control Scatternet의 master에게 전달한다. RREQ(Route Request)를 받은 master는 destination정보가 route cache에 없는 경우, 자신의 모든 bridge를 통해 인접 piconet의 master에게 RREQ broadcast를 통해 전달한다. Master의 route cache에 destination 정보가 존재하면 RREP(Route Reply)를 destination에게 보낸다.

여기까지는 기존의 Bluetooth Scatternet에 DSR을 적용한 방법과 차이가 없다. On-demand Scatternet은 이 정보를 이용해 path-selection 과정을 거친다. PREQ (Path Request) message를 destination까지 보내어 각 master가 On-demand Scatternet을 구성할 참여 node를 결정한다. PREQ를 받은 destination의 master는 마찬가지로 On-demand Scatternet을 구성할 참여 node를 결정한다. 그리고 결정된 node에 새로운 역할을 알려 주어 On-demand Scatternet을 구성할 것을 지시하는 message를 보내고, PREP(Path Reply)를 source node로 전달한다. PREP를 받은 master는 On-demand Scatternet의 참여 node로 선택된 node에 역할과 On-demand Scatternet을 구성하라는 message를 전달한다. 최종적으로 source node가 PREP를 받게 되면 source node는 destination과 On-demand Scatternet을 통해 data를 전송한다.

4. 결론 및 향후 연구

TPSF(Two-Phase Scatternet Formation) protocol은 Control traffic과 Data traffic을 사용하는 전송경로를 분리시켜 준다. 이를 통해 data 전송요구 때마다 별도의 On-demand Scatternet을 구성해 주므로 Bluetooth의 최대 전송 속도로 Data를 전송 가능하다. 또한 Data 전송경로가 master와 bridge를 거치지 않아도 되므로 Bluetooth의 고질적인 단점인 master와 slave의 bottleneck 현상을 해결한다. 따라서 전체 network를 흐르는 총 traffic양이 증가하는 특성이 있다.

그러나 NIB 갱신을 위한 data 전송량이 node 수에 따라 증가하며, NIB를 위한 저장 공간이 커야 한다는 단점

이 있다. 그리고 data 전송이 요구될 때 route를 탐색하고, path를 결정하고, path에 따라 scatternet을 구성해야 하기 때문에 On-demand Scatternet을 생성하기 위한 delay가 매우 크다. 또한 path를 결정하는 기준이 명확하지 않다.

향후에는 NIB의 크기로 인한 문제와 On-demand Scatternet 생성을 위한 delay를 줄이는 방법에 대해 연구를 진행할 것이며, NS simulation을 통해 Two-Phase Scatternet Protocol의 현실성을 보여주는 연구가 이루어질 것이다.

5. 참고문헌

- [1] I. Anderton; "Bluetooth-an evolving challenge," *Communications Engineer, Volume:1, Issue:1, Pages: 9-11, Feb. 2003*
- [2] Bluetooth Special Interest Group, "Specification of the Bluetooth System, Core, version 1.2," <http://www.bluetooth.org>
- [3] T. Salonidis, P. Bhagwat, L. Tassiulas, R. LaMaire; "Distributed topology construction of Bluetooth personal area networks," *INFOCOM. Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. Vol.3, Pages:1577-1586, 22-26 April 2001*
- [4] G.V. Zaruba, S. Basagni, I. Chlamtac; "Bluetrees-scatternet formation to enable Bluetooth-based ad hoc networks," *Communications, 2001. ICC 2001. IEEE International Conference on, Volume:1, Pages:273 - 277, 11-14 June 2001*
- [5] Zhifang Wang, R.J. Thomas, Z. Haas; "Bluenet - a new scatternet formation scheme," *System Sciences, 2002. HICSS. Proceedings of the 35th Annual Hawaii International Conference on, Pages:9 pp. 7-10 Jan. 2002*
- [6] Y. Kawamoto, V.W.S. Wong, V.C.M. Leung; "A two-phase scatternet formation protocol for Bluetooth wireless personal area networks," *Wireless Communications and Networking, 2003. WCNC 2003. IEEE, Volume: 3, Pages:1453-1458, 16-20 March 2003*
- [7] Theodoros Salonidis, Pravin Bhagwat, Leandros Tassiulas, Richard LaMaire; "Proximity Awareness and Ad Hoc Network Establishment in Bluetooth," *Technical Report TR 2001-10, Institute of Systems Research, University of Maryland, 2001*
- [8] David B. Johnson, David A. Maltz, Yih-Chun Hu; "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)," *IETF MANET Working Group INTERNET-DRAFT 15 April 2003*